

マボヤ, *Halocynthia roretzi*での体性感覚刺激により誘発される一過性の心拍数増加反応

誌名	水産増殖
ISSN	03714217
著者名	荒井,永平 刈田,啓史郎 星合,愿一 片山,知史 星野,善一郎
発行元	水産増殖談話会
巻/号	47巻2号
掲載ページ	p. 235-239
発行年月	1999年6月

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター
Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council
Secretariat



マボヤ, *Halocynthia roretzi* での体性感覚刺激 により誘発される一過性の心拍数増加反応

荒井永平・刈田啓史郎・星合愿一

片山知史・星野善一郎

(1999年2月19日受理)

Transient Increase in the Heart Rate Induced by Somatosensory Stimulation in *Halocynthia roretzi*

Nagahira ARAI^{*1}, Keishiro KARITA^{*2}, Gen-ichi HOSHIAI^{*3},
Satoshi KATAYAMA^{*4}, and Zen-ichiro HOSHINO^{*5}

Abstract: Electrocardiogram was recorded from *Halocynthia roretzi*. Increase in the heart rate (IHR) as well as squirting was elicited by somatosensory stimulation of the atrial siphon. IHR was abolished by extirpation of the ganglion, but squirting was still evoked. Stimulation which increased the intrabranchial pressure did not cause IHR. These results suggested that heart in *Halocynthia roretzi* is controlled neurally.

Key words: *Halocynthia roretzi*; Electrocardiogram; Heart rate; Somatosensory stimulation

ホヤ類の心臓は、血流の方向が、不特定の時間間隔で逆転するという、特異な性質をもつことでよく知られている¹⁾。この逆転のメカニズムについては、さまざまな説が提起されているが、いまだに決定的なものを出されていない²⁾。それらの研究過程の多くで、ホヤの心臓の動きを心電図として記録することがなされ、それにより、心拍数や心筋の興奮性などの性質が調べられてきている^{3,4)}。しかしながら、心臓機能の神経支配の有無や、その制御機構については、いまだにはっきりしていない。

一方、ホヤ類にみられる噴出運動 (squirting) については、長時間モニターが可能となり⁵⁾、噴出運動には一過性噴出運動 (phasic squirting) と持続性噴出運動 (tonic squirting) とがあり、一過性の噴出運動は、体性感覚刺激により誘発されるが、持続性噴出運動は

誘発されないことを報告した⁶⁾。この体性感覚刺激により誘発される噴出運動は、哺乳類での運動機能というよりは、食物摂取、不適な食物の排出、体内老廃物や擬糞の排出、配偶子放出など、哺乳類での自律機能としての役割が中心である。したがって、体性感覚刺激により誘発される噴出運動は、哺乳類で知られている体性-内臓 (自律神経) 反射の方に類似していると考えられる。このような特性をもつ噴出運動と最も重要な生命維持機能であり、自律機能を代表する心臓心拍との関連性を明らかにすることは、ホヤ類における心臓機能の特性および、その制御機構を解明する上で重要な課題であると考えられる。

本研究は、水産業上重要な養殖対象種でありながら、その生理生態に不明な点が多くあるマボヤについて、噴出運動を誘発させるような体性感覚刺激が、生体と

*1 東北大学農学部附属海洋生物資源教育研究センター (Education and Research Center of Marine Bio-resources, Faculty of Agriculture, Tohoku University, 15 Konorihama, Onagawa, Osika, Miyagi 986-2242, Japan).

*2 東北大学歯学部生理学教室 (Department of Physiology, Tohoku University School of Dentistry, 4-1 Seiryomachi, Aoba, Sendai, Miyagi 980-8575, Japan).

*3 宮城県内水面水産試験場 (Freshwater Fisheries Research Station of Miyagi Prefecture, Hatasaka, Yoshida, Taiwa, Kurokawa, Miyagi 981-3625, Japan).

*4 東北大学農学部資源生態学教室 (Department of Applied Bio-sciences, Faculty of Agriculture, Tohoku University, 1-1 Tsutsumidori Amamiya, Aoba, Sendai, Miyagi 981-8555, Japan).

*5 岩手大学教育学部生物学教室 (Department of Biology, Faculty of Education, Iwate University, 3-18-33 Ueda, Morioka, Iwate 020-8550, Japan).

くに自律機能の代表としての心臓機能にいかなる影響をあたえているのかを、心電図を記録しそれから得られた心拍数の変化から、明らかにすることを目的とした。

材料および方法

実験は、東北大学農学部附属海洋生物資源教育研究センター（宮城県女川町）で行った。供試マボヤ（平均重量120 g）は受精後3年間養殖された宮城県産のものを、女川港内取水口より揚水した海水（水温9-10°C, 12~1月）で流水飼育した。マボヤの付着根を水中ボンドでアクリル板に接着固定し、体を垂直に保持して数日間から数週間の馴致をおこなった後、実験に供した。

マボヤの心電図を記録するため、合成樹脂の絶縁被覆をした銀線（直径200~300 μ m）の先端3~5 mmの絶縁をはがし、海水中で電解により塩化銀を鍍金し、銀-塩化銀電極を作成した。さらに、テフロンチューブに銀線を入れ折れ曲がらないようにした後に、2本の電極を入水孔と出水孔それぞれから挿入し、内臓組織にしっかりと接触する位置で固定した（図1）。心筋の興奮により発生した電位を前置増幅器付オシロスコープ（日本光電 VC-9）で増幅し観察した（時定数0.1秒）。

噴出運動による体内圧変化を測定するために、出水管に三方コネクター（直径6 mm）の一端を挿入し、血圧モニタリング用ライフキット（ピゴ・スペクトラメッド社製）の血圧トランスジューサー（Statham transducer）に接続した。なお、三方コネクターと出水管との固定は自己融着絶縁テープで固定した。セン

サーからの出力はキャリアアンプ（東京測機研究所製 S-334型）で増幅し、心電図の出力とともにレコーダー（東亜電波工業製）にて記録した（平常記録時のチャート速度は60 mm/min）（Fig. 1）。

体性感覚刺激の閾値を測定するために、von Freyの刺激毛（Fig. 1）を用いた。刺激毛には、0.1~10 gまでの間の強さで曲がる、様々な太さのナイロン製の釣糸を用いた。刺激毛の強さの較正には、天秤に毛を垂直に圧して曲がる値で定めた。

外部から一過性に体内圧を上昇させる刺激は、体内圧測定のための圧トランスジューサーと繋がっているチューブの途中に三方活栓を繋ぎ、そこから注射筒を使って海水を注入することでおこなった。

神経節（出水孔と入水孔との中央の部位）の切断、または切除は、眼科用の小型メスを用いて直径5 mmの円形状の組織部分を切断、または切除を直視下でおこなった。

結 果

マボヤの心電図（Electrocardiogram, ECG）記録電極の位置が適当であると、最大振幅約1 mVの心電図が記録できた（Fig. 2, $n=20$ ）。マボヤの心電図の波を、哺乳類のそれと比較すると、マボヤの心電図では哺乳類のQRS波にあたる波は見られたが、P波にあたる波は観察できなかった（Fig. 2B）。水温10°Cでの無刺激状態での心拍数は4~5回/分であった。また、心電図は連続して長時間（最高1時間）安定して記録できた。その場合、他のホヤ類で報告¹⁾されている数分ごとの心拍の停止（または遅延）と、それに続く心拍の回復現象は観察できなかった。

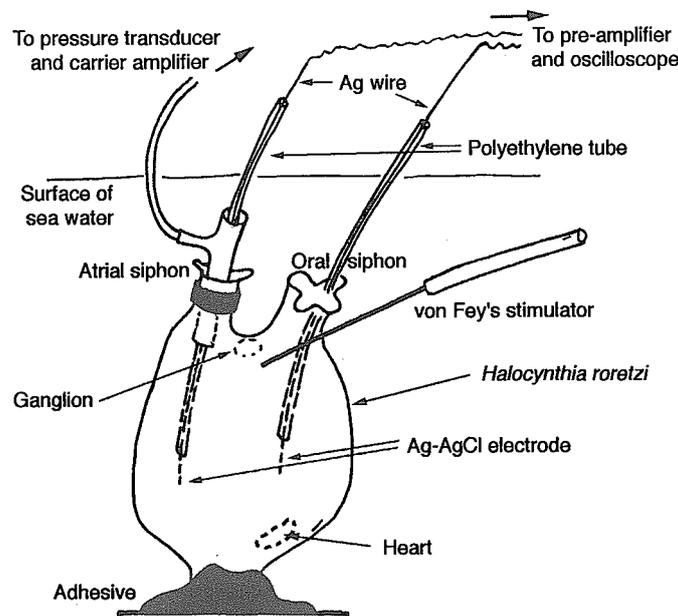


Fig. 1. Diagram of method for measuring electrocardiogram and intrabranchial pressure in *Halocynthia roretzi*.

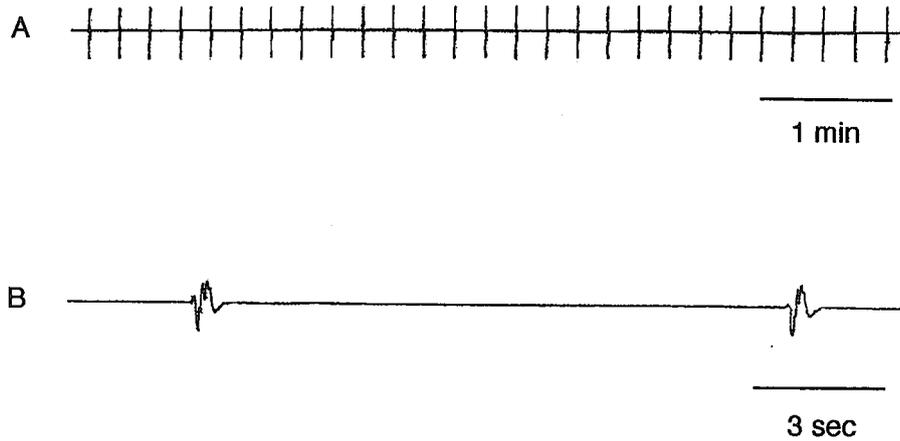


Fig. 2. Electrocardiogram from *Halocynthia roretzi* represented by slow (A) and rapid (B) sweeps.

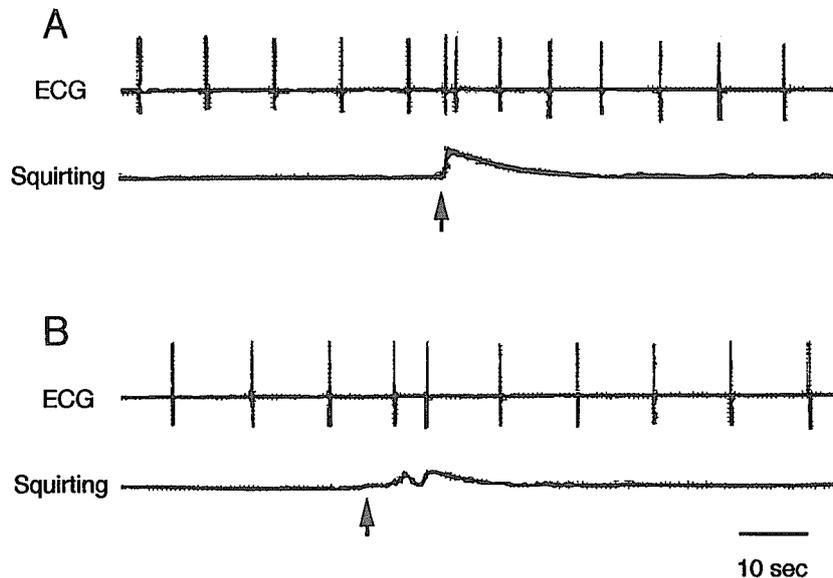


Fig. 3. Changes of heart rate and squirting induced by medium (A) and weak (B) somatosensory stimulation of the atrial siphon.

噴出運動時の心拍数の変化 マボヤの体表面を von Frey の刺激毛 (Fig. 1) で触刺激を与えると、エボヤ⁶⁾同様噴出運動が誘発された。刺激部位により反応の感度が異なり、出水管出口の内壁面刺激に対して最も感度がよく、その閾値は約 1 g であった。次に、マボヤの心電図を記録中に体性感覚刺激で噴出運動を誘発させると、一過性の心拍数の増加反応が生じた (Fig. 3)。心拍の増加反応は、体性感覚刺激が噴出運動を誘発させた場合にのみ生じ、刺激により噴出運動が生じなかった場合には、心拍数の増加は観察されなかった。また、刺激が弱い場合は小さな噴出運動が誘発されるが、強い刺激の場合 (Fig. 3A) よりも心拍数の変化が小さかった (Fig. 3B)。この心拍数の増加反応は、自発性噴出運動時、すなわち体性感覚刺激を与えない状態における噴出運動時にも観察された。

体内圧上昇による心拍数の変化 心拍数の増加反応

が、噴出運動の際の体内圧の上昇によって引き起こされる 2 次的な反応かどうかを調べた。これには、体内圧を噴出運動による体内圧上昇と同等の値にまで人工的に上昇させ、それにより心拍数の変化が生じるかどうかを実験した。噴出運動時に生ずるものと同程度の体内圧上昇刺激を、一過性に与えたが、心拍数の増加は生じなかった (Fig. 4, $n=3$)。

心拍数増加反応に対する神経節切除の効果 出水管の体性感覚刺激により噴出運動と心拍数の増加が観察された個体で、神経節切除を行った。神経節が切除されたホヤでは、体性感覚刺激により、噴出運動は誘発されたものの、心拍数の増加反応は消失した (Fig. 5, $n=3$)。しかしながら、噴出運動誘発の刺激閾値の上昇が見られた (約 1 g から約 5 g へ)。また、神経節切除後にも自発性の噴出運動は起こったが、その場合にも心拍数の増加反応は消失していた ($n=3$)。

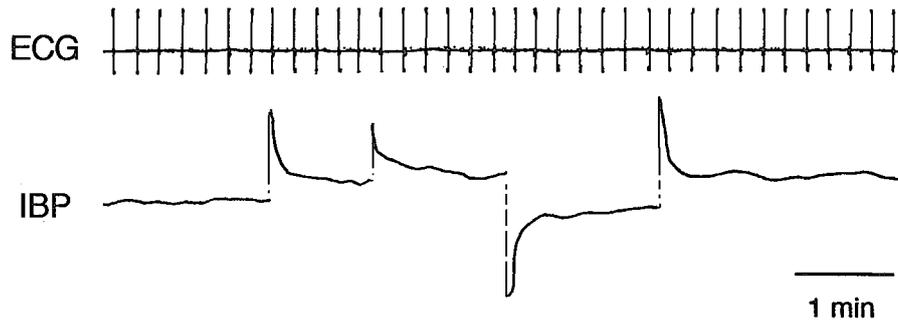


Fig. 4. Effect of intrabranchial pressure (IBP) changes on heart rate in *Halocynthia roretzi*. Vertical bar indicates level as same as pressure change evoked by a squirting.

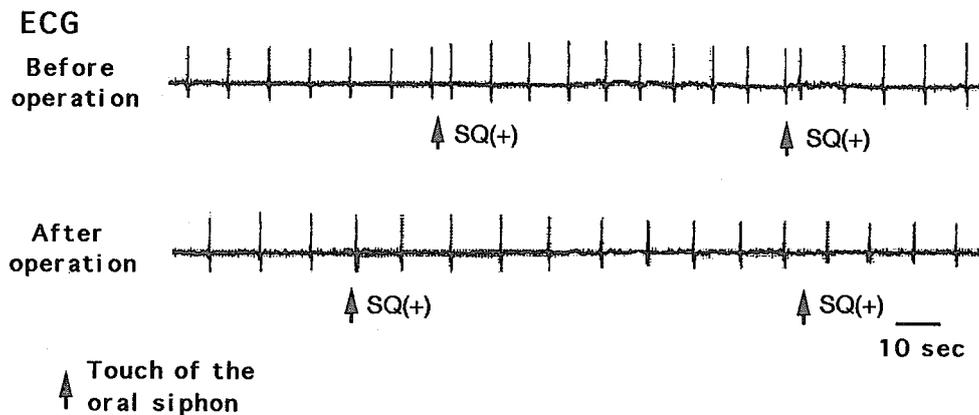


Fig. 5. Changes of heart rate induced by somatosensory stimulation of the atrial siphon before and after extirpation of neural ganglion in *Halocynthia roretzi*. SQ (+) indicates appearance of the squirting.

考 察

マボヤの心電図 これまでに心電図が報告されているホヤ類には *Perophora orientalis*³⁾, ユレイボヤ, *Ciona intestinalis*⁷⁾があるが, マボヤの心電図の記録はこれまで報告されていなかった。今回我々が記録したマボヤの心電図からは, マボヤの心拍数は4~5回/分(11°C)であった。Goodbody²⁾の総説では, ホヤ類の心拍数を20~50回/分としている。したがって, これまでに知られているホヤ類の心拍数と比べて, かなり緩徐な心拍である。一般に, 心拍数は個体の大きさに反比例することから⁸⁾, この違いは主に, マボヤがこれまで報告されていたホヤ類よりも大型であることによるものと思われる(マボヤ; 241.0±38.0 g, ユレイボヤ; 5.7±2.1 g, とともに n=10)。

噴出運動による心拍数の増加反応 哺乳類(ネコ)による実験では, 非侵害性(痛みを起こさない)の皮膚刺激では心臓の拍動数や血圧などに変化を生じないか, 生じたとしてもほんの少しかであった⁹⁾。しかしながら, 侵害性(痛みを起こす)の皮膚刺激では, 心拍数の増加か, あるいは増加と減少の2相性の反応が起

こったという。これは侵害性刺激により, 心臓を支配している交感神経の興奮, または交感神経の興奮とそれに続く迷走神経の興奮が起こるためである^{9,10)}。今回, 我々が行った, マボヤでの噴出運動を引き起こすような触刺激が, はたしてマボヤにとって侵害性であるかどうかであるが, 出水孔などの刺激による反射性の噴出運動は, 異物の排除の役割が大きいと考えられるので, ヒトでの鼻粘膜や気管枝粘膜刺激による咳反応と似た侵害性の刺激による反応と考えられる。すなわち, マボヤにおいても哺乳類の場合と同じく, 侵害性の体性感覚刺激が心臓の働きに影響を与えるものと考えられた。

今回の実験で, 噴出運動を誘発させる体性神経刺激によって一過性に心拍数が増加した。また, これは体性神経刺激の場合だけでなく, 自発性噴出運動のときも同様の心拍数の増加が現われた。したがって, 噴出運動がおこることと心拍数の増加を引き起こすことが強く関連しているらしい。体性感覚刺激によって興奮した神経が噴出運動と心拍数の増加とを同時に引き起こした可能性がある。

一方, 心臓への影響が神経を経由したものでなく,

噴出運動の際の体内圧の上昇などで内臓各器官に強い刺激を与えることによる心拍数の増加反応ではないかとの考えも出てくる。そこで、我々は、噴出運動による体内圧上昇の値と同程度まで、急激な体内圧上昇の刺激をしたが、心拍数の増加は生じなかった。したがって、噴出運動時の心拍数増加は、噴出運動時の体内圧上昇による2次的反応ではなく、神経系の興奮による別個の反射性反応である可能性が強いと考えた。

さらに、マボヤの神経節を切除すると、体性感覚刺激による反射性の噴出運動は残るが、心拍数の増加反応は消失した。また、自発性の噴出運動も消失せずに起こるが、その場合でも心拍数の増加反応が消失していた。したがって、これまでの結果を総合して、体性感覚刺激による心拍数の増加反応は、神経を介する反射性の反応であると結論した。

ところで、ホヤ類の心臓を支配している神経が存在するかどうかについては、これまで研究者間の論争があり、心臓への直接の神経支配はないとする考えの方が強いようである²⁾。ただ、直接支配か間接支配かの問題とは別に、神経節の強い刺激が心拍を停止させること、さらに神経節の切除で心拍数が増加することから、心臓への神経性の抑制作用が存在するものと考えられている¹⁾。心拍数の増加反応に関しては、心臓の働きを抑制している神経の機能を抑制(脱抑制)したという可能性も考えられるが、心臓抑制の神経の存在を示す根拠となるデータは、今回の実験では観察できなかった。

要 約

マボヤ, *Halocynthia roretzi* の心電図を記録した。出水孔の体性感覚刺激により噴出運動とともに、心拍数の増加反応が観察された。神経節切除により、体性感覚刺激による心拍数の増加反応が消失した。しかし、噴出運動は残っていた。また、人工的な体内圧上昇刺激では心拍数の変化はみられなかった。したがって、マボヤの心臓は神経により制御されているものと考えられた。

謝 辞

本研究の飼育実験において、協力を頂いた東北大学農学部付属海洋生物資源教育センター文部技官細田孝春、阿部勝夫の両氏に深く感謝する。

文 献

- 1) Millar, R. H. (1952): Reversal of the heart-beat in tunicates. *Nature*, **170**, 851-852.
- 2) Goodbody, I. (1974): The physiology of ascidians. *Adv. Mar. Biol.*, **12**, 1-149.
- 3) Ebara, A. (1957): The electrocardiogram of the compound ascidian, *Perophora orientalis* Årnbäck. *Science Reports of the Tokyo Kyoiku Daig. Section B*, **8**, 126-137.
- 4) Kriebel, M. E. (1967): Conduction velocity and intracellular action potentials of the tunicate heart. *J. Gen. Physiol.*, **50**, 2097-2107.
- 5) 荒井永平・刈田啓史郎・星合愿一・片山知史・星野善一郎 (1998): マボヤ, *Halocynthia roretzi* の噴出運動 (squirting) の測定. 水産増殖, **46**(4), 517-521.
- 6) 荒井永平・刈田啓史郎・星合愿一・片山知史・星野善一郎 (1999): 単体性ホヤ・エボヤ, *Styela clava* にみられる持続性噴出運動の特性. 水産増殖, **47**(1), 65-69.
- 7) Anderson, M. (1968): Electrophysiological studies on initiation and reversal of the heart beat in *Ciona intestinalis*. *J. Exp. Biol.*, **49**, 363-385.
- 8) Prosser, C. L. and R. A. Brown, Jr. (1961): Comparative animal physiology, W. B. Saunders Company.
- 9) Kaufman, A., A. Sato, Y. Sato, and Y. Sugimoto (1977): Reflex changes in heart rate after mechanical and thermal stimulation of the skin at various segmental levels in cats. *Neurosci.*, **2**, 103-109.
- 10) Sato, A., Y. Sato, F. Shimada, and Y. Torigata (1976): Varying changes in heart rate at different temperatures produced by nociceptive stimulation of the skin in rats. *Brain Res.*, **110**, 301-311.
- 11) Florey, E. (1951): Reizphysiologische Untersuchungen an der Ascidie *Ciona intestinalis* L. *Biol. Zbl.*, **70**, 523-530.